

Korrelation (= Ähnlichkeit)

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) \cdot s(t + \tau) d\tau \quad (\text{Autokorrelationsfunktion})$$

- ➔ Periodizität kann ermittelt werden
- ➔ Dauer des Signals ist gleich der Hälfte der Dauer der Korrelationsfunktion
- ➔ Energie des Signals → Amplitude am Punkt $t = 0$ der AKF

Energiesignale

$$\rho_{ss}(t=0) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) \cdot s(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(\tau) d\tau = E_s$$

- Bsp. Sprungfunktion → Integral wäre nicht berechenbar (geht gegen unendlich)
- statt Energie berechnet man die Leistung

Aus der Elektrotechnik:

$$P = u \cdot i = \frac{U^2}{R} \Leftrightarrow \int_{-\infty}^{\infty} P(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U^2(t)}{R} dt = E$$

Für Signale mit unendlich großer Energie (alle periodischen Signale, Sprungfunktion, zeitlich nicht begrenzte Zufallssignale) → Definition einer endlichen mittleren Leistung entspricht mittlere Energie pro Zeitintervall

$$P = \lim_{g \rightarrow \infty} \frac{1}{2g} \int_{-g}^g s^2(t) dt = \lim_{g \rightarrow \infty} \frac{1}{2g} \cdot A^2 \cdot t|_{-g}^g = \lim_{g \rightarrow \infty} \frac{1}{2g} \cdot A^2 \cdot 2g$$
$$= \lim_{g \rightarrow \infty} A^2 = A^2$$

- ➔ Jedes Signal ist entweder Leistungs- oder Energiesignal
- in der Audiotechnik kann man nicht genau definieren, welche Signaltypen behandelt werden (Töne → Leistung, Signale begrenzt → Energie)

Korrelationskoeffizient

- $-1 \leq k \leq 1$
- gibt eine Auskunft über die Ähnlichkeit der Signale (1 = sehr ähnlich, 0 = verschieden)

Ähnlichkeit zwischen $s(t)$ und $g(t)$:

$$\Delta t = s(t) - g(t)$$

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} [s(t) - g(t)]^2 dt$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt + \int_{-\infty}^{\infty} g^2(t) dt - 2 \cdot \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot g(t) dt$$

orthogonale Funktionen:

$$\int s(t) \cdot g(t) dt = 0 \quad (\text{Bsp.: } \sin(\omega t) \text{ und } \sin(2\omega t) \text{ sind orthogonal zu einander})$$

➔ Grundlage für die Fourier-Transformation

Fortsetzung Korrelationskoeffizient:

$$\rho_{sg} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot g(t) dt}{\sqrt{E_s \cdot E_g}} \rightarrow -1 \leq \rho \leq 1; \begin{cases} \rho = 1, s(t) = |k| \cdot g(t) \\ \rho = -1, s(t) = -|k| \cdot g(t) \\ \rho = 0, \text{ keine Ähnlichkeit} \end{cases}$$

Bsp. Phantomschallquelle:

- 2 Lautsprecher mit gleichem Signal ➔ Signal wird von vorne wahrgenommen
- Stereo: Erzeugung von verschiedenen Phantomschallquellen (bei $\rho = 1$ ➔ Erzeugung einer Phantomschallquelle, $\rho = -1$ ➔ Ohr kann nichts mehr damit anfangen und der Klang wird außerhalb des Lautsprecherfeldes wahrgenommen)

Räumliches Hören:

- Test bei Personen, die mit Kopfhörern verschiedene Signale eingespielt bekamen
 - Je verschiedener die Signale sind, desto mehr wird der Schall an den Seiten wahrgenommen
 - Ping-Pong-Stereophonie: Gesang links, Rest rechts
 - Surround Sound: Lautsprecher müssen dekorreliert werden, ansonsten werden Phantomschallquellen erzeugt, die den Schalleindruck verfälschen
- ➔ Korrelation hängt nicht automatisch mit Kausalität zusammen

Beispiel:

Franzosen trinken viel Rotwein und leiden weniger an Herzinfarkten (➔ Ähnlichkeit)

➔ Mediziner verschreiben viel eher härtere Medikamente

- Kreuzenergie wird 0, wenn Signale gleich sind ➔ Korrelationskoeffizienten in jedem Zeitpunkt
- Die Autokorrelation hat an einer Stelle ein Maximum ➔ Laufzeitunterschied
- Anwendung der Kreuzkorrelationsfunktion in der Audiotechnik:
 - o Zur Taktkontrolle
 - o Stimmenerkennung
 - o Rauschsubtraktion von Signalen
 - o MLSSA für Raumakustik

Messung der Nachhallzeit

- Kurzes Signal im Zeitbereich wird ausgestrahlt, aufgenommen und der Pegelabfall um 60 dB gemessen
- Impuls (ideal wäre ein Diracstoß) wird ausgestrahlt, aufgenommen und der Pegelabfall um 60 dB gemessen (+ Impulsantwort des Raumes)
- Startpistole, zusammengeschlagene Bretter etc. geben einen Impuls aus, dessen mittlere Energie ermittelt wird → Nachhallzeit aus Energieabfall, als Pegel aufgetragen

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} h^2(t) dt \rightarrow \Delta L = 60dB \rightarrow T_N = x s$$

Vorteil: T_N und $h(t)$ werden ermittelt (→ Reflexionen im Raum)

Nachteil: $\delta(t)$ praktisch nicht erreichbar → zu wenig und zu schmalbandige Energie

➔ Berechnung von T_N per Dreisatz, weil ein fast linearer Verlauf des Pegels zu Grunde liegt

- Sweep des Raumes mit allen nötigen Frequenzen, Aufnahme filtert die Grundfrequenz wieder heraus → „Tef“ (time energy frequency) –Verfahren

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df = \int_{-\infty}^{\infty} h^2(t) dt$$

- Weißes Rauschen in den Raum und Ausklang messen

MLSSA (sprich: „Melissa“)

- Verbindet die Energiemessung von weißem Rauschen mit der Messung der Impulsantwort
- Überlagerung einer Folge von Impulsen auf das Zufallssignal
- Messsignal wird beendet → es wurden Frakturen im Spektrum entstehen
- Von der MLS Folge wird dies ausgeglichen (MLS = Maximum Length Sequence, in sich nicht periodische Folge)
- MLSSA = Maximum Length Sequence Analyser = Soundkarte + Software
- Erzeugt pseudozufälliges, aber nicht periodisches Rauschen
- Angabe im Schröder Plot → Abfall und Vergleich mit dem Korrelationsfaktor
- Filterung vor Angabe des Schröder Plots → in der Regel 500Hz
- Arbeiten im synchronen und asynchronen (externe Bearbeitung) Betrieb (SNR nur bei synchronem Betrieb)

Synchroner Betrieb:

MLS Generator gibt MLS Folge aus, welche in den Raum abgestrahlt wird → Aufnahme und Korrelation der MLS Folge und der Aufnahme

Asynchroner Betrieb:

MLS Generator gibt MLS Folge aus, welche in den Raum abgestrahlt wird → Aufnahme auf Band und spätere Weiterverarbeitung

- C50 Deutlichkeitsmaß → Energie in den ersten 50ms dividiert durch die restliche Energie
- ➔ 50 ms Verwischungsgrenze → kleiner 2dB = sehr gute Verständlichkeit

- Bei Musik darf ein wenig Verwischung auftreten → C80 Grenze
- ➔ Beachten der Reflexionen → Ortsabhängigkeit → evtl. späte lautere Reflexionen
- Im Labor:
 - Angabe, von wo die Reflexion gekommen ist
 - Angabe kritischer Messpunkte (z.B. Balkone)
 - Nutzung von ULYSSES → Raumakustik Messtool
 - Vergleich Software – Messung im Raum
 - Auftragen von Nachhallzeit über Frequenz